

LA FUNCIÓN SOCIAL DE LOS BOSQUES

Wilfredo Alfaro Catalán¹

Resumen/Abstract

El presente artículo resume las bases legales y científicas que sustenten una definición de la función social de los bosques para proveer bienes públicos fundamentales para la existencia humana que los bosques han hecho comunes a todas las personas. Se revisó la legislación nacional vigente y la evidencia científica que relaciona los bosques con la provisión de bienes y servicios que por su carácter de bienes públicos no sean sujeto de dominio o propiedad. Los resultados resumen las disposiciones de la legislación nacional sobre la función social de los bosques para la provisión de bienes públicos que los bosques han hecho comunes a todas las personas, incluida la referencia a las disposiciones vigentes en Chile de los acuerdos multilaterales sobre medio ambiente. Los resultados resumen además la evidencia científica sobre la función social de los bosques de proveer bienes públicos vitales para la existencia humana. Se concluye además que la función social de los bosques excede la función productiva de los bosques o la provisión de servicios ambientales para mejorar las condiciones del medio ambiente o la provisión de servicios ecosistémicos para el bienestar humano.

Palabras claves: legislación, bosques, función social, bienes públicos, compuestos orgánicos volátiles.

THE SOCIAL ROLE OF FORESTS

This article summarizes the legal and scientific basis sustaining a definition of the social function of the forests as provision of public goods that are basics for the human existence and that forests have made common to all people. It has been reviewed the national legislation and scientific evidence that relate forests with provision of goods and services whose character of public goods does not should be subject to dominion or property. The results summarize the provisions of the national legislation on the social function of the forests for provision of public goods that forests have made common to all people, included references to the provisions in force in Chile from the multilateral agreements on environment. The results summarizes also the scientific evidence on the social function of the forests to provide public goods fundamental for the human existence. It is concluded also that the social function of the forests exceed the productive function of the forests, or provision of environmental services for improvement of environment conditions, or provision of eco systemic services for human welfare.

Keywords: legislation, forests, social function, public goods, volatile organic compounds.

¹ Chileno, Corporación Nacional Forestal (CONAF). E-mail: wilfredo.alfaro@conaf.cl



Antecedentes y planteamiento del problema

La función productiva de los bosques está plenamente reconocida en el marco jurídico nacional. En general, dicha función productiva de los bosques es sujeto de dominio o propiedad (BCN 2000). Por otra parte, la función social de los bosques no tiene definición legal explícita en la legislación nacional, en circunstancias que podría limitar o establecer restricciones al dominio ante las exigencias de los intereses generales de la nación, la seguridad nacional, la utilidad y la salubridad pública o la conservación del patrimonio ambiental (BCN 2005). Surge entonces la interrogante de si existen bases legales y científicas para definir la función social de los bosques. En base a la información general sobre la materia, se puede plantear como hipótesis de trabajo que es posible definir la función social de los bosques como la *provisión de bienes públicos, fundamentales para la existencia humana, que los bosques han hecho comunes a todas las personas*.

El primer antecedente general que cabe destacar es el carácter único a nivel mundial de los bosques de Chile. Chile tiene 5.641 especies de flora vascular, de las cuales 4.655 son especies nativas y 863 son especies introducidas o especies originarias reintroducidas. Chile tiene un altísimo endemismo ya que 2.150 especies, 46% de las especies nativas, son endémicas. Las especies arbóreas del bosque nativo chileno son 93, además de 7 especies suculentas de hábito arbóreo (Rodríguez et al 2017). La mayor parte de las especies arbóreas en Chile corresponden al tipo Neo-tropical, templado o sub-antártico de origen gondwánico (Torres, T. 1984; Serra y Cruz 2006; Hinojosa et al. 2015). Esto se explica porque la paleoflora mixta original posiblemente evolucionó bajo clima tropical o sub-tropical con temperaturas cálidas, alta precipitación anual con poca variación estacional y un macizo andino muy reducido (Hinojosa y Villagrán 2005). Posteriormente, hace 23 millones años se inicia el congelamiento de la Antártida y el levantamiento de la Cordillera de los Andes, posteriormente se desarrolla la corriente fría de Humboldt, se amplía la Diagonal seca de Sudamérica y se cierra el contacto entre el Océano Pacífico y el Océano Atlántico en lo que ahora conocemos como el Istmo de Panamá, todo lo cual cambia completamente los patrones de circulación oceánica y atmosférica y con ello el clima del país. Finalmente, durante el Plioceno, hace 5 millones de años, se inicia el ciclo de glaciaciones que cambiaría completamente las condiciones ambientales en Chile (Moreno y Gibbons 2007).

En estas circunstancias, el clima sub-tropical de Chile se tornó frío y seco, a lo cual las especies de la paleoflora mixta del bosque chileno que sobrevivieron logran adaptarse a estas nuevas condiciones. Muchas de las actuales especies tienen afinidad taxonómica y directa relación morfológica con flora fósil del período Oligoceno, Eoceno y Mioceno, y algunas tendrían carácter relictos de formaciones vegetales anteriores al ciclo de glaciaciones (Torres, 1984; Hinojosa et al. 2015). Las adaptaciones propias de las especies leñosas del bosque de Chile las distinguen de manera única de todas las otras especies leñosas existentes en el mundo. Por ejemplo, *Boquila trifoliolata* una especie de enredadera de la familia *Lardizabalaceae*, tienen capacidad de modificar la estructura foliar de sus hojas, en tamaño, color, forma y estructuras especiales como mucrones (espinas) a fin de reproducir las estructuras foliares de los

forófitos o árboles u otras enredaderas en las cuales se apoya para mimetizarse y evitar daño por herbivoría. Esta capacidad de súper mimetismo de *Boquila trifoliolata* le permite mimetizarse hasta con 23 árboles hospederos o forófitos distintos. Esta especie es objeto de profundo estudio en los laboratorios científicos del mundo desarrollado para comprender esta capacidad de súper mimetismo que no tiene explicación científica hasta ahora. El carácter más sorprendente de esta especie del bosque chileno es su capacidad de reproducir las estructuras foliares de otras especies con las cuales nunca ha estado en contacto (Gianoli y Carrasco-Urra 2014). Otra especie ícono de la súper adaptación de las especies forestales chilenas es *Araucaria araucana*, especie originalmente de clima tropical y sub-tropical que logró adaptarse a condiciones extremas de frío y sequía como el desarrollo de un nuevo tipo de micorrizas, es decir simbiosis con hongos de las raíces, una doble pared de células de parénquima en las hojas, desarrollo de una corteza muy gruesa, así como la síntesis de ácidos grasos que solo desarrollan especies animales como adaptación al frío. Muchas de las especies del bosque chileno son las especies originales a partir de las cuales se desarrollaron las especies que hoy se extienden en otras regiones del planeta. Uno de los casos más emblemáticos es el caso de *Nothofagus alessandri* (ruil), la especie originaria de la familia *Nothofagaceae* y el género *Nothofagus* con 32 especies que se distribuyen en el extremo meridional de América del Sur, Australia, Nueva Zelanda, Nueva Guinea y Nueva Caledonia (Hinojosa et al. 2015). Otro ejemplo notable es el género *Eucalyptus* distribuido naturalmente en Oceanía pero ampliamente introducido o reintroducido en la mayor parte de los países del mundo, incluido Chile donde puede este género podría ser considerado como género originario reintroducido ya que los macro-fósiles más antiguos del mundo se encuentran en la Patagonia (Gandolfo 2011).

Las especies forestales se podrían considerar entre las especies más evolucionadas del planeta, ya que para algunas especies se han predicho hasta 77.043 genes codificadores de proteínas en su versión diploide (Plomion et al, 2018), lo cual es favorablemente comparable como referencia con los cerca de 40.000 genes que presenta el genoma de la especie humana. Entre estas especies más evolucionadas, las especies del bosque chileno tienen características únicas a nivel mundial que no tiene ninguna otra especie en el mundo, ni animal, ni vegetal, como es el caso del súper-mimetismo descrito para *Boquila trifoliolata* (Gianoli y Carrasco-Urra 2011). Así, el bosque chileno por sus atributos únicos podría representar un ejemplo arquetípico de la función social de los bosques.

En segundo lugar, es importante señalar como antecedentes sobre las bases legales para una definición de función social de los bosques, que la Ley N° 20.283, Artículo 2°, numeral 2, define literalmente bosque como “sitio poblado con formaciones vegetacionales en las que predominan árboles y que ocupa una superficie de por lo menos 5.000 metros cuadrados, con un ancho mínimo de 40 metros, con cobertura de copa arbórea que supere el 10% de dicha superficie total en condiciones áridas y semiáridas y el 25% en circunstancias más favorables”. Los bosques pueden ser bosques nativos si están conformados por árboles de especies autóctonas, o plantaciones forestales si han sido establecidos por acciones de forestación o reforestación de cualquier tipo de árbol nativo, introducido u originario reintroducido. La misma Ley N° 20.283 en su Artículo 2°, numeral 1, también define árbol como “planta de fuste o tronco generalmente

leñoso, que en su estado adulto y en condiciones normales del hábitat puedan alcanzar, a lo menos, 5 metros de altura, o una menor en condiciones ambientales que limiten su desarrollo” (BCN 2008).

Respecto al carácter de los bienes públicos en general, la ley en Chile establece en relación con los bienes públicos que no son sujeto de dominio las “cosas que la naturaleza ha hecho comunes a todos los hombres, y que su uso y goce son determinados entre individuos de una nación por las leyes de ésta, y entre distintas naciones por el derecho internacional” (BCN 2000). En el caso de los bienes cuyo dominio pertenece a la nación toda y su uso pertenece a todos los habitantes de la nación, se les denomina bienes públicos (BCN 2000).

En el caso de los bosques y su función productiva, como se indicó, la ley establece que pueden ser sujeto de dominio o propiedad. Además, la función social de los bosques podría ser entendida como bien público ya que en los hechos el uso del oxígeno, agua, salud y clima que producen los bosques pertenece a todos los habitantes de la nación o incluso, por extensión, puede ser entendida como bien público global ya que de hecho su uso pertenece a todos los habitantes del planeta y beneficia a todos ellos (Ellison 2017; Ellison 2018; Nobre 2014). Así, la función social que cumplirían los bosques de proveer bienes públicos como la provisión de oxígeno, la producción de agua mediante estimulación y reciclaje de las precipitaciones, la provisión de salud humana por la emisión de componentes orgánicos volátiles o la regulación del clima por la mitigación del calentamiento global y el cambio climático, entre otras funciones naturales de interés público, puede ser entendida como “cosa incorporal” que “la naturaleza ha hecho común a todos los hombres” y por lo tanto no sujeto de dominio en tanto bien público (BCN 2000).

Finalmente, los antecedentes sobre la evidencia científica señalan que todo tipo de bosques y árboles cumplen efectivamente una función productiva sujeta de dominio, que se relaciona con la provisión de madera, leña, otro tipo de fibras, alimentos de uso común como hongos comestibles, frutos y semillas, así como otros productos forestales no-madereros (Millennium Ecosystem Assessment 2005). La consideración de la función social de los bosques contaría en el imperio del estado de derecho en Chile con garantía constitucional, la cual impondría limitaciones y obligaciones al dominio o propiedad (BCN 2005).

Como antecedentes generales sobre la función social de los bosques en Chile, se puede señalar que la población nacional dispone de cerca de una (1) hectárea de todo tipo de bosque *per capita*, ya que Chile cuenta con unos 14 millones de hectáreas de bosque nativo y unos 3 millones de hectáreas de plantaciones forestales de especies nativas, de especies introducidas y de especies originarias reintroducidas (CONAF 2011). La función productiva de los bosques genera uno 45 millones de m³ anuales de madera para madera aserrada, celulosa, papel, leña y productos forestales no madereros como hongos comestibles, frutos y semillas, cuyo valor aporta cerca del 2,5% del Producto Interno Bruto (PIB) equivalente a unos USD 6,25 billones (INFOR 2016). Por otra parte, es posible estimar a partir de estas cifras que la función social de los bosques proveería anualmente: cerca de 200 millones de toneladas de oxígeno, suficiente para cubrir las necesidades anuales de oxígeno de todos los habitantes de la nación; reciclaría cada año al menos 150

mil millones de m³ de precipitación; removería de la atmósfera 65,49 millones de toneladas anuales de dióxido de carbono (CO₂), principal gas de efecto invernadero causante del calentamiento global y el cambio climático, lo cual equivale a un 58% de las 111,7 millones de toneladas de emisiones totales de CO₂ equivalente (CO₂e), por lo que las emisiones netas de Chile son solamente 46,1 millones de toneladas de CO₂e, acercando a Chile a constituirse en un país “carbono neutral” (MMA 2018), y; aportaría unas 100 mil toneladas de componentes orgánicos volátiles para la salud humana y la estimulación de las precipitaciones, tales como borneol, cimeno, cineol o eucaliptol, limoneno, mentol, mirceno, pineno, sabineno, terpineno, entre cerca de 1.700 diferentes aerosoles forestales emitidos a la atmósfera por todo tipo de bosques (Hansen et al. 2017; Cho et al. 2017).

Respecto a la función social a nivel global que cumplen los bosques, se estima que estos proveerían: el oxígeno suficiente para respirar para toda la humanidad, unos 40 mil millones de toneladas de oxígeno por año; reciclan dos tercios de la precipitación mundial sobre los continentes, unos 72 mil km³ de agua (Ellison 2018), y; son el principal sumidero de gases de efecto invernadero ya que eliminan de la atmósfera un tercio de las emisiones humanas anuales de carbono, unos 3 mil millones de toneladas de carbono (IPCC, 2014).

Materiales y métodos

El análisis de la función social de los bosques se ajustó al enfoque de la teoría fundamentada (Glasser y Strauss 1967; Corbin y Straus 1998). Se revisó por una parte la normativa nacional existente en materia forestal, así como el marco jurídico internacional sobre ambiente y desarrollo vigente en Chile, a fin de establecer las bases legales y científicas para una definición de la función social de los bosques. La principal fuente corresponde a los archivos de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN), así como diferentes textos que resumen la legislación forestal a manera de Código Forestal (CONAF 2016; Gallardo 2016). Así, se revisaron los cuerpos legales sobre la Constitución de la República promulgada a partir de 1833, Código Civil a partir de 1858, leyes sobre conservación de los bosques promulgados a partir de 1854, la legislación sobre fomento forestal promulgada en forma sistemática a partir de 1871, así como la legislación sobre el sistema nacional de áreas silvestres protegidas por el estado de parques nacionales y reservas forestales promulgadas a partir de febrero de 1879, antes de la Guerra del Pacífico (BCN 1871; Cabezas 1984).

Por otra parte se revisó la evidencia científica publicada a partir de 1998 que documentara la función de los bosques para proveer bienes públicos. Para los efectos de este artículo, se revisó la evidencia científica sobre la producción por los bosques de oxígeno, agua, componentes orgánicos volátiles y la remoción de gases de efecto invernadero.

Resultados y discusión

A continuación se resumen los principales hallazgos de la revisión bibliográfica, diferenciando los elementos legales y de la investigación científica, en la perspectiva de efectuar una síntesis de ambas dimensiones que precise una definición de la función social de los bosques.

Bases legales para una definición de la función social de los bosques

En relación con el marco jurídico sobre la función social de todo tipo de bosque de provisión de oxígeno, producción de agua, provisión de salud humana y la regulación del clima mediante la mitigación de los gases de efecto invernadero que causan el cambio climático, sorprende que esté escasamente destacado en la legislación nacional y el marco jurídico internacional sobre medioambiente vigente en Chile.

A nivel mundial se han suscrito 44 acuerdos multilaterales sobre medio ambiente en temas de agua, aire, biotecnología, cambio climático y agotamiento del ozono, desechos, gobernanza, naturaleza y biodiversidad, protección civil y accidentes ambientales, químicos y suelos (Comisión Europea 2019). Los acuerdos multilaterales que tienen directa relación con la función social de los bosques y que han sido promulgados en Chile como Ley de la República se limitan a cinco: (1) la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC/CMNUCC) promulgada en Chile por Decreto N°123 del 13 de abril 1995; (2) el Protocolo de Kyoto de la UNFCCC, promulgado por Decreto N° 349 de 16 de febrero 2005; el Acuerdo de París de la UNFCCC, promulgado por Decreto N° 30 del 23 de mayo 2017; (4) la Convención de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica (CBD), promulgada por Decreto N° 1.963, 05 de junio 1995, y; la Convención de las Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación en países afectados por Desertificación y/o Sequía Grave, particularmente en África (UNCCD/CNULD), promulgada por Decreto N° 2.065 del 13 de febrero de 1998. Otras convenciones vigentes en Chile que se podrían relacionar muy indirectamente con la función social de los bosques son la Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas (CITES, Decreto N° 141, 25 marzo 1975), la Convención Ramsar sobre Humedales de Importancia Global, especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Ramsar, Decreto N° 771, 11 noviembre 1981), y la Convención para la Protección de la Flora, la Fauna y las Bellezas Escénicas de los Países de América (Convención de Washington, Decreto N° 531 del 04 octubre 1967).

Los acuerdos multilaterales sobre medio ambiente suscritos por Chile hacen escasa o nula referencia a bosques, y la referencia a la función social de los bosques es nula, escasa, muy indirecta o parcial. Por ejemplo, la Convención de Naciones Unidas de lucha contra la Desertificación (CNULD/UNCCD) ratificada por Chile mediante el Decreto N° 2.065/1998 es la que hace mayor referencia a los bosques. En su Artículo 2°, la UNCCD reconoce de manera explícita a los bosques como susceptibles de degradación. En relación con su Anexo III para América Latina y el Caribe, el texto de esta Convención reconoce como condiciones especiales de la región las prácticas que distorsionan de los mercados internacionales de productos forestales y la recomendación de incluir en los Programas de Acción Nacional contra la Desertificación actividades de desarrollo sostenible de las actividades forestales y la protección contra incendios forestales.

Por otra parte, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC/UNFCCC) promulgada en Chile por Decreto N°123/1995, señala en su Artículo 3° una única referencia a los bosques, y establece el compromiso de todos los países Parte de promover la gestión sustentable de los bosques. El Protocolo de Kyoto ratificado por Decreto N° 349/2005, en su Artículo 2° incluye la promoción de prácticas sostenibles de manejo forestal, la forestación y la reforestación, como compromisos cuantificados de limitación y reducción de emisiones de los países Anexo I. Lamentablemente, Chile no forma parte de los países Parte del Anexo I.

La Convención sobre Biodiversidad promulgada mediante Decreto N°1.963/1995 no hace ninguna mención a bosques o flora. En este caso, se podría especular que el legislador habría incluido a los bosques de manera implícita en el amplio concepto de biodiversidad o ecosistema. El Foro de Naciones Unidas sobre Bosques podría considerar los bosques y su rol planetario, sin embargo desde 1992 aún está en proceso de negociación un mecanismo voluntario sobre bosques, y no se avizora un pronto acuerdo legalmente vinculante.

La reciente adopción por parte de Chile del Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático mediante el Decreto 30 del 23 de mayo de 2017, establece como Ley de la República la consideración del rol de los bosques en la mitigación del cambio climático y la obligación del país de conservar y aumentar sus bosques. Esta misma ley en su Artículo 5, parágrafo, 2 establece el deber de los países de impulsar los enfoques de política e incentivos positivos para la Reducción de Emisiones debidas a la Deforestación o la Degradación de los bosques, así como la promoción de la conservación de los bosques, el manejo sustentable de los bosques y el aumento (+) de las reservas de carbono en los bosques. Este enfoque de políticas se denomina internacionalmente REDD+. Chile es uno de los países más avanzados en el mundo en la aplicación del enfoque REDD+ e implementa la Estrategia Nacional de Cambio climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) liderada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Esta estrategia es el principal instrumento para cumplir con los compromisos internacionales del sector forestal de Chile ante el Acuerdo de París.

En un análisis preliminar de legislación comparada, se puede concluir también que la legislación forestal a nivel mundial ha sufrido importantes cambios desde la Cumbre sobre Medio Ambiente y Desarrollo, la Cumbre de Río de Janeiro, Brasil, 1992, incluyendo los elementos normativos que reconocen los beneficios múltiples de los bosques y la necesidad de asegurar una gestión sustentable de los bosques (FAO, 2001). El régimen legal de los bosques a nivel global en general considera a estos como bienes públicos, o bienes privados o una combinación de ambos regímenes. Algunos países consideran en la legislación el acceso público a los bosques. Sin embargo, aún existe mucha distancia para el reconocimiento de los bosques como bienes públicos globales por su rol en el funcionamiento del ecosistema planetario, por lo que habría una buena oportunidad para que Chile avance en esta materia y constituya un ejemplo mundial.

En un escenario de cambio global, la consideración de la función social de los bosques ha llevado a algunos autores a plantear la necesidad de considerar los bosques como bienes públicos globales (Ellison 2017; Alfaro 2015). Los bienes públicos son aquellos bienes o servicios cuyo uso no es competitivo ni excluyente, pueden ser provistos por el estado o por el sector privado y se diferencian de los bienes privados en que estos últimos son de uso excluyente, uso competitivo y sujeto de derechos de propiedad susceptibles de enajenación y herencia. Se entiende a los bienes públicos globales como aquellos bienes o servicios que tienden a servir de manera universal a toda la población mundial y todas las generaciones, y su uso no es competitivo, ni excluyente, condiciones que parecieran cumplir cabalmente todo tipo de bosques y árboles fuera de los bosques en los ciclos mundiales del oxígeno, del agua o del carbono, incluyendo en este último a la emisión por todo tipo de árboles y bosques de componentes orgánicos volátiles como principios activos de acción farmacológica (Alfaro 2006).

En Chile, el régimen legal de los bosques lo establece la Constitución Política de la República, el Código Civil, la Ley N° 20.283, la Ley N° 15.641 y otra normativa de rango jurídico menor. El régimen legal de los bosques en Chile corresponde a bienes sujetos de dominio y en general estos cuerpos legales indican de manera muy implícita la función social de los bosques. La Constitución Política de la República de Chile no hace mención expresa a los bosques. Sin embargo, en su Artículo 19, numerales 8° y 24°, se señalan elementos que definen la función social del ambiente en general y el deber del estado en esta materia. El Artículo 19 en su párrafo 8° señala el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación y el deber del estado de tutelar la conservación de la naturaleza. El Artículo 19 en su numeral 24 establece las limitaciones y obligaciones al dominio o propiedad por la función social. Así, la Constitución señala que solo la ley puede establecer el modo de adquirir la propiedad, de usar, gozar y disponer de ella y las limitaciones y obligaciones que deriven de su función social. La función social de la propiedad comprende cuatro condiciones: cuando así lo exijan los intereses generales de la nación; la seguridad nacional; la utilidad y la salubridad públicas, y; la conservación del patrimonio ambiental (BCN 2005).

Las figuras legales descritas anteriormente destacan que la función de los bosques podría imponer limitaciones y obligaciones al dominio derivada de dicha función. En este sentido, mención especial merece la jurisprudencia que estableció el Dictamen RUC N° 225-2015 de la Corte de Apelaciones de Chillán, Región del Biobío, del 14 de julio de 2016, en que por primera vez un tribunal nacional considera la función social de los bosques para establecer limitaciones y obligaciones al dominio derivadas de esta función social, amparado en la garantía constitucional del Artículo 19, numerales 8° y 24° de la Constitución Política de la República. En este caso, dicha resolución impidió la substitución de bosque nativo (Corte Apelaciones 2016).

Además, el Código Civil de 1857, señala en el caso del usufructo la conveniencia de “conservar los bosques en un solo ser” y en su artículo N°568 reconoce a los árboles como bienes inmuebles. A diferencia de los bosques, en el caso de las aguas el Código Civil en su Artículo N° 595 las reconoce como “bienes nacionales de uso público”. A pesar de esta falta de reconocimiento explícito de los bosques como bienes nacionales públicos, el Artículo N° 585 del Código establece que “las cosas que la naturaleza ha hecho

comunes a todas las personas no son sujeto de dominio”, lo cual podría aplicar a las funciones naturales de los bosques de interés público como las analizadas en este documento. Además, el Artículo N° 589 del Código define bienes nacionales aquellos que pertenecen a toda la nación, lo que excluiría a la función social de los bosques, ya por ser común a todos no es sujeto de dominio por ninguna nación. Sin embargo, la definición de los bienes públicos del segundo párrafo de este artículo establece que son bienes públicos aquellos “bienes nacionales cuyo uso pertenece a toda la nación”. En esta definición se podría entender que la función social de los bosques comprende en los hechos al de bien público ya que todos los habitantes de la Nación se benefician de la función social de los bosques para provisión de oxígeno, la producción de agua, la provisión de salud humana y la regulación del clima mediante la mitigación de los gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático. La legislación ambiental y forestal chilena define la mayor parte de los conceptos asociados a bosques, incluido el concepto de servicios ambientales, pero no hay mención explícita al rol de los bosques en la provisión de oxígeno o su rol en la precipitación global o el ciclo mundial del agua.

En Chile, el Título III del Código Civil define los bienes nacionales como aquellos bienes cuyo dominio pertenece a la nación toda. En el caso que su uso sea público, el Código Civil los denomina bienes nacionales de uso o bienes públicos. En este contexto, algunos elementos jurídicos que pudieran sustentar la consideración del rol de todo tipo de bosques en los ciclo planetarios vitales para la existencia humana como bien público global sería en la indicación del Artículo N°23 de la Constitución Política de Chile donde se exceptúa de la adquisición del dominio a “aquellos bienes que la naturaleza ha hecho comunes a todos los hombres o que deban pertenecer a la Nación toda y la ley así lo declare”. En este sentido, sería interesante explorar la consideración de la función social de los bosques en la producción del oxígeno, el agua, los componentes orgánicos volátiles para la salud humana y la remoción del carbono atmosférico, como bien nacional de uso público o bien público, considerando que dicha función social de todo tipo de bosques sería fundamental para el bienestar y la existencia humana.

Asimismo, en futuros perfeccionamientos de la legislación forestal chilena se podría también explorar mejores definiciones de bosque no sólo en términos de composición y estructura como es actualmente, sino que incluir además elementos asociados a la función social de los bosques que consideren los procesos ecológicos en los cuales el rol de todo tipo de bosques es fundamental como en el caso del ciclo del oxígeno, el ciclo del agua o el ciclo global del carbono. Desde el punto de vista reglamentario, otro instrumento que podría contribuir al reconocimiento de todo tipo de bosques en el funcionamiento del ecosistema global es el Plan de Manejo, cuyos objetivos actualmente están referidos de manera central al máximo beneficio y al aprovechamiento sustentable de los bosques, donde el perfeccionamiento de este instrumento bien podría ser ampliado a la inclusión explícita de objetivos para asegurar la función social de los provista por todo tipo de bosques para el bienestar y la existencia humana. Aún en el caso hipotético que la legislación nacional considere la función social de los bosques, se requeriría que la legislación forestal llegue a conformar un Código Forestal, de modo que alcance la jerarquía jurídica que correspondería a esta declaración de la ley. La ausencia del reconocimiento del rol de los bosques como

bienes públicos globales en la legislación internacional y nacional posiblemente amerite acción para procurar este reconocimiento.

Bases científicas de la función social de los bosques

Se presentan a continuación los principales hallazgos de la investigación científica sobre el rol de los bosques en el ecosistema planetario para la provisión de bienes públicos. Así, se analiza el rol de los bosques en la provisión de oxígeno, la producción de agua, la provisión de salud humana y la regulación del clima mediante la remoción desde la atmósfera de gases de efecto invernadero.

El rol de los bosques en el ecosistema planetario

El rol de los bosques en el funcionamiento del ecosistema planetario es fundamental en el ciclo global del oxígeno, en el ciclo global del agua, en particular en la precipitación global sobre los continentes, así como en el ciclo global del carbono. La tierra como la conocemos actualmente ha sido modelada por los bosques. Hace más de 550 millones de años (Ma), en el período geológico del Precámbrico, la atmósfera de la tierra era un caos inestable compuesta en un 80% por nitrógeno y 20% de dióxido de carbono que le confería el carácter inestable, por lo que la vida apenas se desarrollaba en la profundidad de los océanos. Las bacterias cianofíceas y luego, hace 368 Ma, los árboles y los bosques, removieron de la atmósfera el 20% de dióxido de carbono hasta su actual concentración atmosférica a nivel de trazas de 415 ppm, transformando el dióxido de carbono en biomasa mediante el proceso de la fotosíntesis y liberando a la atmósfera el 20% del oxígeno actual que compone la atmósfera. Es más, durante el período Carbonífero, hace 300 a 350 Ma, los bosques alcanzaron su máxima amplitud de distribución mundial, por lo que también la concentración de oxígeno atmosférico alcanzó su máximo histórico de 35%. Además de la producción de oxígeno, la función de reciclaje de la precipitación por los bosques transportó la precipitación desde el borde costero hacia el interior de los continentes, con lo cual fue posible la colonización de la tierra por los organismos vivos (Nobre 2014). Ahora que los bosques están desapareciendo y reducido su superficie bajo los 4.000 millones de hectáreas (FAO 2013), cabría preguntarse si la atmósfera podría volver al caos original del Precámbrico.

La fotosíntesis y la respiración son los procesos fisiológicos básicos de los árboles y los bosques para la contribución al bienestar y la existencia humana (Figura 1). La fotosíntesis es un proceso de transformación química en que la energía del sol queda acumulada en la biomasa o madera de los árboles o los bosques. El agua que los árboles absorben por las raíces se combina con el dióxido de carbono (CO_2) que los árboles absorben a través de los poros de las hojas. La fotosíntesis se realiza principalmente en órganos especializados de las células de las hojas llamados cloroplastos. El dióxido de carbono removido de la atmósfera y absorbido por las hojas, y el agua absorbida por las raíces, son transformados mediante la energía del sol en oxígeno y agua liberados a la atmósfera, además de carbohidratos acumulados como biomasa o madera en hojas, ramas, troncos o raíces. Los carbohidratos simples producto de la fotosíntesis se transforman en polímeros de carbono complejos como la celulosa, hemicelulosa o lignina que constituyen la madera de los árboles.

Cabe destacar también que para absorber el CO₂ necesario para el proceso de la fotosíntesis, las plantas deben intercambiar vapor de agua con la atmósfera. El vapor de agua liberado por árboles y bosques cumple un rol fundamental en el proceso de la precipitación global y su reciclaje, ya que constituye cerca de dos tercios del total de la precipitación que cae sobre los continentes (Ellison 2018; Nobre 2014). El aporte de agua de los bosques a la precipitación sobre los continentes permite concluir que el agua se planta.

La producción de oxígeno liberado durante la fotosíntesis mantiene la reserva mundial de oxígeno, y como se verá más adelante, el crecimiento de una tonelada de biomasa o madera por los árboles y bosques genera casi el triple de todo el oxígeno que requiere una persona para respirar durante un año.

La respiración es el proceso inverso a la fotosíntesis. Los procesos fisiológicos de los árboles requieren de la respiración para disponer de la energía acumulada en los carbohidratos producidos por la fotosíntesis. En la respiración, la descomposición de los carbohidratos por oxidación libera la energía del sol acumulada en la biomasa o madera y produce dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) como sub-productos. La liberación de vapor de agua durante la respiración es otro argumento más que suficiente para afirmar que los bosques producen agua.

Cabe destacar que el crecimiento de los árboles es el resultado del balance neto entre fotosíntesis y respiración. Si los productos de la fotosíntesis son mayores a la tasa de la respiración, los árboles crecerán. En la medida que los bosques crecen, mayor es su aporte neto en captura de carbono, provisión de oxígeno y aporte de agua al reciclaje de las precipitaciones.

Además, el metabolismo de los árboles libera compuestos químicos en forma de aerosoles de dimensiones denominados Componentes Orgánicos Volátiles (COV) que se mantienen en suspensión en el aire. Estos aerosoles emitidos por los bosques son percibidos por las personas como los olores del aroma típico de los bosques. Los principales compuestos aromáticos liberados por los árboles como aerosoles son el borneol, camfor, cimeno, cineol o eucaliptol, isopreno, limoneno, pineno, mentol, mirceno, terpineno, entre muchos otros. Estos compuestos orgánicos volátiles tienen propiedades: (1) ionizantes; (2) antioxidantes, y; (3) forman los núcleos de condensación imprescindible para la formación de las gotas de agua lluvia. Las capacidades ionizantes y antioxidantes neutralizan los radicales libres en el aire que genera la contaminación, y la capacidad de formación de núcleos de condensación de nubes y gotas de agua lluvia estimula las precipitaciones sobre los continentes. Ambas funciones son vitales también para el bienestar y la existencia humana.

El bien público de la provisión de oxígeno

La producción neta de oxígeno es proporcional al crecimiento neto de los árboles. Por cada tonelada de biomasa de crecimiento, se liberan a la atmósfera 1,07 toneladas de oxígeno, correspondiente a un volumen de 770 m³ de oxígeno que es más del doble de lo que una persona necesita para respirar al año.

Para ampliar, un bosque de una especie forestal de crecimiento rápido de madera dura que crezca a razón de 30 m³ anuales por hectárea, libera aproximadamente 25 toneladas de oxígeno por hectárea al año. Esta masa de oxígeno corresponde a un volumen de 20.000 m³ oxígeno y unos 100.000 m³ de aire, considerando una densidad del oxígeno de 1,3 kg por m³. Por otra parte, el volumen pulmonar normal de una persona promedio es de 0,5 litros de aire por inhalación, lo cual implica un promedio de 1.750 m³ de aire al año, que a concentración del 20% corresponde a 350 m³ de oxígeno. Así, el bosque de este ejemplo podría proveer de oxígeno a unas 60 personas por hectárea al año. Una especie de crecimiento lento de 5 m³ por hectárea al año y madera blanda liberaría 2,4 toneladas de oxígeno por hectárea por año y podría proveer de oxígeno a 6 personas por hectárea de bosque por año. Si en promedio una hectárea de bosque produce oxígeno suficiente para respirar a 30 personas, los 17 millones de hectáreas de bosque en Chile proveerían del oxígeno que necesitan 510 millones de personas.

El bien público de la producción de agua

Respecto a la ocurrencia del fenómeno de la precipitación, este requiere 3 condiciones básicas: núcleos de condensación para la formación de las gotas de agua lluvia y de las nubes; descenso de la presión atmosférica y perturbación en el perfil vertical de la atmósfera que permita a la humedad atmosférica ascender a menores temperaturas, condensar y precipitar hacia la tierra, y; humedad atmosférica en condición al menos cercana a la saturación; todo tipo de bosques contribuyen a estas tres condiciones básicas y en esto se diferencian de todo otro tipo de vegetación. Así, los procesos que inducen los bosques y que facilitan la precipitación son: (1) la emisión de aerosoles por parte de los bosques como isopreno y sus productos de oxidación, limoneno, alfa-pineno, beta-pineno, los cuales constituyen núcleos de condensación para la formación de nubes; (2) la creación de centros de baja presión someros por efecto de la modificación del albedo sobre la superficie de la tierra que generan los bosques, transformando energía lumínica del sol en energía térmica, modificando el balance de energía local y provocando la perturbación en el perfil vertical de atmósfera por ascenso de la masa de aire circundante, imprescindible para que ocurra precipitación; (3) la atracción hacia el interior de los continentes de las masas de aire sobre el océano que se encuentran a mayor presión atmosférica, por efecto de la formación de centros someros de baja presión atmosférica sobre los bosques; (4) el reciclaje de la precipitación por efecto de la evapotranspiración de todo tipo de bosques, la cual contribuye de manera significativa a la humedad atmosférica requerida para la precipitación.

De hecho la mayor parte de la evaporación que ocurre en los ecosistemas terrestres tiene su origen en todo tipo de bosques, donde una proporción menor de esta evapotranspiración es generada por humedales, zonas de riego y otro tipo de vegetación. Así, la evapotranspiración de todo tipo de bosques aporta hasta un 60% de la precipitación que ocurre sobre los continentes, generando parte importante de los 70.600[±5.000] km³ de humedad atmosférica que junto a los 45.900[±4.400] km³ que aportan los océanos, constituyen los 116.500[±5.100] km³ de precipitación que caen anualmente sobre los ecosistemas terrestres y que en definitiva genera los 45.900[±4.400] km³ de escorrentía en los ríos que es susceptible de aprovechamiento (FAO/AQUASTAT 2014; Bosilovich 2014; FAO 2003; Shiklomanov 2003; Gleick 2000; Shiklomanov 1998; Ellison 2017; Ellison 2018). Estos antecedentes confirman la idea que “el agua

se planta”, señalando la participación de los árboles y bosques en la producción de la mayor parte del agua sobre los continentes y sugiriendo como corolario que una mayor disponibilidad de agua requeriría plantar más árboles y bosques.

El aporte menor de la evaporación oceánica a la precipitación sobre los ecosistemas terrestres pareciera contraria a lo que indica el sentido común, pero se entiende claramente ya que de los 449.500[\pm 22.200] km³ de agua que se evaporan anualmente desde la superficie del océano, prácticamente el 90% de esta evaporación, es decir 403.600[\pm 22.200] km³ precipitan sobre el mismo océano, por lo que sólo el 10% indicado del volumen restante de humedad atmosférica generado por la evaporación oceánica, 45.000 km³ de agua, llega a los continentes y precipita sobre la tierra (Figura 2).

Así las cosas, nos preguntamos por qué el planeta está sufriendo una sequía global (Figura3), y por qué Chile está sufriendo sequías tan recurrentes cada vez más extensas, donde al año 2015, 25 de sus comunas estuvieron declaradas en zona de catástrofe por sequía permanente, 191 comunas declaradas en emergencia agrícola por sequía (Figura 4) y 32 comunas en zona de escasez hídrica. Desde el año 2007 a la fecha Chile sufre la sequía más prolongada desde que existen registros y desde esa fecha se ha declarado un total de 268 comunas, -de las 346 comunas en total-, en emergencia agrícola por sequía (MINAGRI). Respecto a la proyección de largo plazo, cabe señalar que la frecuencia de sequías en la Zona Central del país ha aumentado desde una sequía cada 50 años hace un par de siglos, hasta una sequía cada 6,3 años, y por las proyecciones del clima para el año 2100, se podría pensar que esta frecuencia se mantenga o se intensifique, por lo que no resulta extraño que recientemente se califique al fenómeno como permanente. Esta condición ya se ha alcanzado en las regiones de Coquimbo y Valparaíso por la declaración de 20 comunas afectadas por “catástrofe de sequía permanente”. La sequía por definición es un fenómeno transitorio y no permanente, por lo que en este caso correspondería denominar al fenómeno que afecta a estas regiones como “desertificación”.

Por otra parte, los recursos hídricos en la Región de Atacama se han declarado como “zona de prohibición de asignación de derechos de agua” (MOP/DGA), y para la Zona Central dichos recursos se encuentran prácticamente todos en “zonas de agotamiento” o “zonas de restricción”. Adicionalmente, habría que considerar que en estudios internacionales sobre probabilidad de ocurrencias de mega-sequías en climas mediterráneos como el clima de Chile, la probabilidad de ocurrencia de mega-sequías con duración de más de 10 años es del 80% - 90%, y la probabilidad de ocurrencia mega-sequías de más de 50 años de duración es entre 5% - 10%, lo cual hace algunos años era impensable (Ault 20014). La sequía sufrida por Chile es parte de un fenómeno global que ha afectado a más de 30 países, incluyendo California en USA, Brasil, Australia, China, Argentina, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Siria, India, entre muchos otros. El Centros de Estudios CR2 de la Universidad de Chile, confirmó que el cambio climático explica un 30% de la disminución de precipitación durante la reciente mega-sequía (CR2 2015).

La degradación de los bosques limita su función social y esta degradación es factor incuestionable en la aceleración de fenómenos globales como el cambio climático y los fenómenos asociados de

desertificación, degradación de las tierras y sequía. Los impactos de estos fenómenos en el medio biofísico explican la dinámica acelerada que presentan en la actualidad, especialmente en relación con la actual crisis global del agua. Sin embargo, los impactos sociales y económicos son los que determinan el sentido de urgencia y la prioridad política de abordar su mitigación. Así, la interacción entre el cambio climático y la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía constituye el principal factor de recurrencia para las mayores crisis humanitarias en tiempos de paz a nivel mundial, incluida la migración masiva de población desplazada desde las áreas más severamente afectadas, muy particularmente aquellas afectadas por sequía grave. Si bien el cambio climático, la desertificación, la degradación de la tierra y la sequía son fenómenos globales que afectan a toda la población humana, sin duda quienes son más gravemente afectados son aquellas poblaciones que sufren degradación de sus recursos naturales, pobreza y marginación (Alfaro 2005; CEPAL 2005).

A pesar de lo fundamental que resulta el rol de todo tipo de bosques en el funcionamiento del ecosistema planetario, impresiona que este rol sea tan mal entendido o sub-valorado y no se considere en el debate sobre: la implementación de esquemas de pago o compensación por resultados para los servicios ecosistémicos hidrológicos provistos por los bosques para el bienestar humano; o las métricas para determinar la huella del agua en la producción forestal o cualquier otro tipo de producción que utilice el agua; o las estrategias de fijación de precios del agua para consumo humano, riego, industria, minería o energía; o las estrategias de adaptación, pérdida y daño por cambio climático. Sorprendentemente, el rol de la cubierta forestal en la precipitación global está ausente también en las estrategias para la gestión de las sequías. Tampoco se incluyen en estas discusiones un número importante de funciones eco-sistémicas de los bosques en relación con el agua, como por ejemplo la acción refrigerante de los bosques por efecto neto de la evapotranspiración o el rol de infiltración de la lluvia y la recarga de acuíferos. La consideración del rol de todo tipo de bosques en el ciclo hidrológico mundial requeriría entonces del escrutinio de aquellas actividades que pudieran afectar significativamente la cubierta forestal a nivel global por sus potenciales efectos en la reducción de la precipitación mundial, como por ejemplo: (a) la creciente deforestación; (b) la conversión del uso de la tierra desde bosque a uso agropecuario, y muy particularmente; (c) la conversión desde bosque a área urbana, cambio que tendría los mayores impactos en la disminución de la precipitación global. A nivel mundial, para el período 1990 al 2010 los bosques se redujeron desde 4.168,4 millones de hectáreas a 4.032,9 millones de hectáreas (FAO, 2011), es decir en ese período se deforestó una superficie equivalente al doble del territorio continental de Chile, la mayor parte de esa deforestación ocurrió entre los años 2000 al 2012, en que la pérdida neta de bosques fue cercana a los 115 millones de hectáreas. Con relación a la deforestación, existen ejemplos notables como la deforestación de la Amazonía; entre 1970 y 2013 se devastaron 75.809.200 hectáreas de selva, esta superficie equivale casi exactamente a la extensión de todo el territorio continental de Chile, y desde el año 1998 al 2013 se deforestaron 37 millones de hectáreas. Nuestro país es otro buen ejemplo de deforestación, Lara et al. (2012) estiman la pérdida de bosques en la zona centro sur de Chile en 5,6 millones de hectáreas desde tiempos precolombinos.

El bien público de regulación del clima por la mitigación de los gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global y el cambio climático

El planeta experimenta un cambio global irreversible (Solomon 2009[1]) que no tiene precedente en siglos, milenios y hasta en millones de años, como la probabilidad de ocurrencia de mega-sequías, la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, el retroceso de los glaciares, la disminución de la superficie de bosques, la desaparición de los corales o la acidificación de los océanos (Cook 2009; IPCC 2014; CBDSEC 2014). En eventos geológicos históricos de cambio global anteriores, se identifican 3 fases: carbónica, metánica y sulfúrica. La actual fase carbónica del cambio climático se inicia con la revolución industrial a mediados del siglo XVIII. La deforestación y la combustión masiva de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, habrían desencadenado un aumento en la concentración de CO₂ a los niveles actuales sin precedentes durante el último millón de años. El actual proceso de cambio global habría entrado en una segunda fase el 14 de agosto de 2009, donde metano comienza a contribuir de manera significativa al forzamiento radiativo que provoca el calentamiento global de la atmósfera sobre la superficie de la tierra (Westbrook et al. 2009).

Las emisiones humanas de carbono a la atmósfera totalizan 9 mil millones de toneladas al año (IPCC 2014). Los bosques absorben anualmente unos 3 mil millones de toneladas de carbono y los océanos unos 2 mil millones de toneladas. Los restantes 4 mil millones de toneladas de emisiones humanas de carbono se acumulan en la atmósfera. Así, los niveles de concentración atmosférica de dióxido de carbono han superado de manera permanente las 400 partes por millón (ppm). Sin embargo, CO₂ explica solamente dos tercios del forzamiento radiativo derivado del potencial de calentamiento global de los distintos gases de efecto invernadero. Por ejemplo, metano (CH₄) tiene un potencial de calentamiento global 23 veces mayor que el dióxido de carbono, su concentración es de 1.700 partes por billón (ppb) y esta concentración se ha triplicado (+300%) desde la era pre-industrial. Así, en realidad la concentración de dióxido de carbono en términos equivalentes a la concentración de todos los gases de efecto invernadero correspondería a una concentración de 600 ppm, lo cual es más del doble de la concentración a inicios de la Revolución Industrial correspondiente a 280 ppm. La duplicación de la concentración inicial de CO₂ generaría impactos irreversibles en todos los ecosistemas del planeta (IPCC 2014).

A pesar de encontrarse a concentraciones de trazas, los gases de efecto invernadero absorben y retienen el calor que irradia la tierra. Esta retención de calor conforma el llamado efecto invernadero de la atmósfera que significa un aumento de +20°C en la temperatura media de la atmósfera que en la actualidad es 15,3°C y no -4,7°C como sería sin el efecto invernadero de esta atmósfera. Las emisiones sin precedentes de gases de efecto invernadero ha intensificado el efecto invernadero provocando el fenómeno del calentamiento global, es decir el aumento creciente de la temperatura de la atmósfera sobre la superficie de la tierra que actualmente es +1,1°C sobre el promedio y que los países del mundo realizan grandes esfuerzos para mantenerlo bajo los +2°C e idealmente que no supere los +1,5°C. Sin embargo, aun cuando todos los países cumplan rigurosamente sus compromisos de reducción de emisiones es posible que la temperatura promedio aumente +3,7°C (IPCC, 2014). El calentamiento global induce una alteración de los patrones de circulación atmosférica y con esto el régimen de variables del clima que son claves como el régimen de precipitaciones, el régimen de temperatura o el régimen de los vientos. Este conjunto de fenómenos se denomina cambio climático, aun cuando muchos entienden equivocadamente

que este término solamente se refiere solo a los cambios en el régimen de la temperatura y no a la totalidad de las variables del clima como corresponde. Esta confusión se aprecia en la negociación internacional en la materia donde el foco es el aumento de la temperatura, sin embargo bien cabe hablar de cambio global ya que los efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero permea toda la estructura ecosistémica del planeta, especialmente los efectos de la absorción de dióxido de carbono por el océano y la consecuente formación de ácido carbónico. A este respecto, cabe señalar que el océano ha absorbido un tercio de las emisiones de dióxido de carbono desde el inicio de la era industrial. Las emisiones totales al año 2011 se estiman en unas 2,03 billones de toneladas de CO₂, de las cuales unas 585 mil millones de toneladas de CO₂ habrían sido absorbidas por el océano (IPCC 2014), es decir la humanidad ha vertido en el océano más de 500 mil millones de toneladas de ácido carbónico.

Asimismo, Desde 1750 a la fecha las emisiones humanas de carbono acumulan 555 mil millones de toneladas de carbono. Dos tercios de este enorme volumen ha sido emitido desde 1960 al año 2010 (IPCC, 2014). Del total de emisiones, los bosques han absorbido 160 mil millones de toneladas de carbono y los océanos 155 mil millones de toneladas de carbono. Para determinar el volumen de dióxido de carbono a partir del volumen de emisiones de carbono se debe multiplicar por 3,67. Así, se puede concluir que los bosques son el principal sumidero de gases de efecto invernadero que tiene el ecosistema terrestre para mitigar el cambio climático (Figura 5).

El espectacular desarrollo que ha experimentado la humanidad durante los últimos siglos ha significado una acumulación en la atmósfera de cerca de 240 mil millones de toneladas de carbono desde la Revolución Industrial. Los principales impactos de las emisiones de gases de efecto invernadero afectan a los glaciares, los corales y los bosques. En esta etapa, la población mundial es muy sensible el aumento de la frecuencia de los desastres naturales a causa del cambio climático como huracanes, sequías, incendios forestales, entre otros. Así, los países del mundo han adoptado la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, sigla en inglés) para abordar la mitigación del cambio climático, entendiendo esta mitigación como el abatimiento de los gases de efecto invernadero. En su texto original, esta convención no hace ninguna mención al aporte de los bosques a la mitigación del cambio climático. Este instrumento de política internacional ha sido ineficaz en el cumplimiento de su objetivo. Como ejemplo, se puede señalar que la meta del Protocolo de Kyoto, adoptado en el marco de esta Convención, fue reducir al 2012 en un 5% las emisiones de gases de efecto invernadero en los países desarrollados respecto al nivel de emisiones de 1990. Lamentablemente, las emisiones mundiales aumentaron un +54% en 2012 respecto al nivel de 1990 (IPCC 2014: 10).

Finalmente, en el año 2015, los países del mundo adoptaron el Acuerdo de París, el cual establece un mecanismo para que todos los países del mundo puedan contribuir a la reducción de emisiones mediante la denominada Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, sigla en inglés). Chile ha comprometido en su NDC la reducción de 30% de sus emisiones por unidad de Producto Interno Bruto respecto al nivel de 2007, así como la forestación de 100.000 hectáreas y el manejo sustentable de otras 100.000 hectáreas. Para cumplir los compromisos internacionales de Chile para el sector forestal se formuló la Estrategia

Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales (ENCCRV) que lidera la Corporación Nacional Forestal. Este rumbo que ha seguido el proceso de negociación internacional sobre cambio climático abre esperanzas de conseguir el objetivo mundial que la temperatura no supere los $+2^{\circ}\text{C}$ de aumento. Este propósito requiere mayor compromiso ya que el IPCC determinó en 2014 que si todos los países cumplen su NDC, la temperatura de la atmósfera aumentará en $+3,7^{\circ}\text{C}$, lo cual supone impactos muy significativos.

La función social de provisión de salud humana

Cabe destacar además, que una función social que no detallaremos en extenso en el presente documento, es la provisión de salud que aportan los bosques para el bienestar humano. Los bosques regulan una serie de parámetros de salud humana como el nivel de presión arterial, los niveles de hormonas como el cortisol, la hormona del estrés, o algunos componentes especiales del sistema inmune adaptativo con las células *natural killer* (NK) que eliminan las células cancerígenas. El Profesor Akira Tomohide en Japón conceptualizó hace 3 décadas el uso tradicional de los bosques para provisión de salud con el término “baño de bosque” (*forest bathing*), en la actualidad existe una red de bosques de este tipo a nivel mundial, la más importante en Corea, y en Chile los primeros bosques de salud se están estableciendo en la Reserva Forestal Mañihuales y el Cerro Divisadero en la Región de Aysén.

Así, se revisó un total de 65 publicaciones sobre la materia que analizan los efectos de los COV forestales sobre enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico y desórdenes mentales. Estas publicaciones documentan además los efectos antimicrobianos sobre bacterias, hongos y virus. En tiempos de la actual pandemia global de SARS-CoV2/COVID-19, se ha documentado un total de 14 aerosoles forestales de efecto antiviral como por ejemplo borneol, bornil acetato, carvacrol, citral, para-cimeno, cineol, alfa-pineno, beta-pineno, alfa-terpineno, gama-terpineno, terpineol, terpinen-4-ol, tuyone y timol. La principal especie forestal que contribuyen a la salud humana en Chile es *Pinus radiata* que por su alta tasa de crecimiento emite grandes cantidades de aerosoles con acción farmacológica, tales como alfa-pineno, beta-pineno, d-limoneno, para-cimeno, entre muchos otros, destacando alfa-pineno con su acción antiinflamatoria, anti-reumática, antioxidante, antitumoral y neuro-protector. Asimismo, la alta tasa de crecimiento de *Eucalyptus globulus* explica la emisión de grandes cantidades de cineol (eucaliptol). Eucalipto emite cerca de 10 kg de aerosoles por año por hectárea, donde cerca del 90% de los aerosoles forestales emitidos por *Eucalyptus* corresponden a cineol, el cual tiene acción farmacológica antioxidante y neuro-protectora. Las especies forestales del bosque nativo también emiten aerosoles forestales a la atmósfera, principalmente isopreno y sabineno. En particular, el isopreno tiene un rol destacado en la formación de cristales de nieve como núcleo de condensación. Entre los principales COV que emiten a la atmósfera las especies nativas con efecto en salud humana destaca sabineno que tiene efecto antiinflamatorio y es el principal aerosol emitido por el género *Nothofagus*, el género más representativo de las especies del bosque nativo chileno.

La documentación del efecto de los aerosoles forestales emitidos a la atmósfera global por los bosques sobre la salud humana se remonta a 1928. En aquella época, el Dr. Boris Tokin de la Universidad de San Petersburgo en Rusia, documentó científicamente el efecto vasorelajante y vasodilatador de alfa-pineno,

el principal aerosol emitido por las especies forestales del género *Pinus*. Posteriormente en 1980, Kenzo Senshu publica en Japón el libro “La magia de los bosques” que recoge la investigación del Dr. Tokin. En 1982, el director de la Agencia Forestal de Japón, Sr. Akira Tomohide, organiza el primer congreso internacional sobre Terapia Forestal y durante el congreso acuña el término “Shinrin Yoku”, “Baño de Bosque”, con el cual se conoce mundialmente este efecto de los aerosoles forestales, y que describe la acción de terapia forestal mediante inmersión en la atmósfera del bosque para fines de salud humana. A partir de esa fecha, Japón transformó muchos de sus parques nacionales en “Bosques de Salud” para “Terapia Forestal” mediante “Baño de Bosques”. A la fecha, Japón cuenta con 64 parques nacionales habilitados para baño de bosque. En 1992, el Sr. Akira Tomohide trabajó en Chile con la Corporación Nacional Forestal (CONAF), teniendo al autor del presente artículo como contraparte técnica. CONAF estableció el primer bosque de salud en Chile en 2018 en el Parque Urbano Las Lavanderas en Villa Mañihuales, Región de Aysén. Durante 2019, la Gerencia de Áreas Silvestres Protegidas (GASP) habilitó y entrenó en baño de bosques a los guarda-parques de los parques y reservas nacionales del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE) que administra CONAF y que cubre el 24% de la superficie del territorio nacional. A la fecha existen 6 parques y reservas nacionales del SNASPE que están habilitadas para baño de bosque en el marco de la Política de Acceso Universal e Inclusión de CONAF. Durante 2019, también CONAF capacitó en la Región de Ñuble a pequeños propietarios de bosque nativo que recibieron la bonificación para la construcción de senderos forestales a fin de transformar sus bosques de preservación o conservación en bosques de salud. Asimismo, CONAF trabaja con el Centro de Salud Familiar (CESFAM) de la Comuna de Yungay en la Región de Ñuble para desarrollar actividades de baño de bosque con grupos de tercera edad que atiende la Posta de San Antonio en dicha comuna. A futuro, esta acción conjunta con centros de atención primaria de salud podría ampliarse muy substancialmente por lo cual los bosques podrían cumplir una función social para una amplia población del país.

Los protocolos clínicos para aplicación de la acción farmacológica de los aerosoles forestales en el bosque prescriben un recorrido de dos horas en el interior de la atmósfera del bosque. Este recorrido en el bosque de 2 horas reduce durante 7 días los niveles de cortisol, creatinina o adrenalina, las hormonas del estrés, y aumenta la concentración en el plasma sanguíneo de las células “Natural Killer” (NK) que eliminan las células cancerígenas, aumentando la concentración en el plasma sanguíneo de las proteínas que destruyen a estas células como la perforina, la granzima y la granzulina. El efecto se amplía a 30 días si este recorrido de 2 horas en el bosque se repite durante 3 ó 4 días seguidos (Li et al, 2007; Li et al., 2009; Li et al., 2010). En el contexto de la actual pandemia SARS-CoV2/COVID-19, se ha limitado severamente la continuidad de las actividades de terapia forestal en bosques de salud mediante baño de bosques, como los descritos anteriormente en relación a proyecto conjunto con CESFAM-Yungay, por lo que actualmente se refina un protocolo clínico para la administración de terapia forestal en recintos cerrados que incluye aplicación de los aerosoles forestales que correspondan al historial clínico de los participantes en estas actividades, en concentraciones de 10 a 400 partes por millón (ppm) durante dos (2) horas.

En conclusión, como señala extensamente la bibliografía, una función social que cumplen los bosques es la provisión de salud humana, fundamentalmente sobre la base de la emisión a la atmósfera global de componentes orgánicos volátiles (COV) en la forma de aerosoles forestales que constituyen principios activos de acción farmacológica, principalmente antiinflamatoria, antirreumática, antioxidante, antitumoral y neuro-protectora debido a las propiedades ionizantes y antioxidantes de dichos aerosoles. La emisión a la atmósfera global de aerosoles forestales con acción farmacológica para la salud humana constituye un bien público que los bosques han hecho comunes a todas las personas y que la imposibilidad del ejercicio del dominio o propiedad sobre dichos aerosoles forestales confirman la función social de los bosques en la provisión de salud humana.

Conclusiones y recomendaciones

Existen bases legales y científicas suficientes para afirmar que la función social de los bosques se puede entender como la *provisión de bienes públicos vitales para el bienestar y la existencia humana que los bosques han hecho comunes a todas las personas*.

Todo tipo de bosques y árboles fuera de los bosques cumplen una función social que es vital para el bienestar y la existencia humana. Esta función social que cumplen los bosques para el bienestar y la existencia humana comprende la provisión de oxígeno, la producción de agua, la provisión de salud y la regulación del clima.

La función social que cumplen los bosques para el bienestar y la existencia humana ha sido hecha común por los bosques para todas las personas. La función social que cumplen los bosques no es sujeto de dominio como cosa incorpórea que ha sido hecha común a todas las personas, y en los hechos correspondería a un bien nacional de uso público o bien público ya que su uso pertenece a toda la Nación.

Por extensión, la función social de los bosques correspondería a un bien público global ya que su uso pertenece también a toda la humanidad.

La función social que cumplen los bosques podría imponer de manera implícita, limitaciones y obligaciones al dominio o propiedad. La afectación del dominio tendría garantía constitucional según requieran los altos intereses de la Nación, la seguridad nacional, la utilidad y salubridad pública y la conservación del patrimonio ambiental.

El marco legal internacional y nacional incorpora de manera muy incipiente en sus disposiciones a la función social de los bosques. La importancia vital para el bienestar y la existencia humana de la función social de los bosques amerita un reconocimiento expreso de dicha función en el marco legal internacional y nacional, así como acción directa para el logro de este propósito.

La consideración de la función social de los bosques abre un marco conceptual más allá de la función productiva, la provisión de servicios ambientales para mejorar las condiciones del medio ambiente o la provisión de servicios ecosistémicos para el bienestar humano.

Un nuevo marco conceptual basado en la función social de los bosques abriría un amplio campo en materia de compensaciones y retribución a las acciones de fortalecimiento de la función social de los bosques. Esta consideración abre ilimitadas posibilidades de perfeccionamiento del marco legal, nacional e internacional, a fin de incorporar la consideración de la función social de los bosques.

Asociado a lo anterior, un nuevo marco conceptual sobre la función social de los bosques permitiría un fortalecimiento de las instituciones a todo nivel, públicas y privadas, académicas y educativas.

Asimismo, se puede concluir también que el desarrollo de un marco conceptual sobre la función de los bosques abriría un nuevo espectro de acciones relaciones e interacciones, un nuevo pacto social entre la civilización, la sociedad y la especie humana con todo tipo de bosques.

Finalmente, la función social de los bosques desde una perspectiva integral como los enfoques de la Ciencia de la Complejidad, abriría amplios campos a la investigación científica y social.

Referencias bibliográficas

Alfaro, W., 2005. Conceptos básicos para el análisis social, económico, ambiental e institucional de la desertificación. En: Pobreza, desertificación, y degradación de los recursos naturales. César Morales y Soledad Parada, Eds. Libros CEPAL 87 (59-88).

Alfaro, W. 2015. Rol de los bosques en el ciclo mundial del agua como bien público global. Congreso Iberoamericano sobre Derecho Forestal y Ambiental. Universidad de Concepción. Concepción. Chile. 12 pp.

Ault et al, 2014. Assessing the Risk of Persistent Drought Using Climate Model Simulations and Paleoclimate Data. American Meteorology Society. Journal of Climate. Vol 27 (7529-7549). DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00282.1

BCN. 1871. Ley de corta. Biblioteca del Congreso Nacional. 1pp.

BCN. 2005. Decreto N° 100: Fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la Constitución Política de la República de Chile. Biblioteca del Congreso Nacional. 78pp.

BCN. 2000. Decreto con Fuerza de Ley DFL N°1: Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado del Código Civil. Biblioteca del Congreso Nacional. 78pp.

BCN, 2008. Ley N° 20.283: Promulga ley para la recuperación del bosque nativo y el fomento forestal. Biblioteca del Congreso Nacional. Biblioteca del Congreso Nacional. 78pp.

CBDSEC, 2014. An Updated Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity (Eds: S. Hennige, J.M. Roberts & P. Williamson). Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SBDSEC), Montreal, Technical Series No. 75, 99 pp.

CEPAL, 2005. Pobreza, desertificación, y degradación de los recursos naturales. César Morales y Soledad Parada, Eds. Libros CEPAL 87. 274 pp.

Cho, K., et al, 2017. Terpenes from forests and human health. Journal of Toxicology Research. Volume 33, N°2: 97-106.

Comisión Europea. 2019. Acuerdo Multilaterales sobre Medioambiente. Revisado 19 julio 2020 en www.ec.europa.eu/environment/international_issues/agreements.en.htm.

CONAF. 2016. Normativa Forestal. Corporación Nacional Forestal. 260pp.

Cook, B. et al. 2009. “Megadroughts in North America: placing IPCC projections of hydroclimatic change in a long-term paleoclimatic context”. Journal of Quaternary Science. DOI: 10.1002/jqs.1303.

Cook B. et al, 2015. Unprecedented 21st century drought risk in the American Southwest and Central Plains. Science Advances 2015. 8 pp.

Corte de Apelaciones. 2016. Dictamen RUC N° 225-2015. Corte de Apelaciones de Chillán.

CR2. La mega-sequía en Chile 2010-2015: una lección para el futuro. Centre for Climate and Resilience Research. Universidad de Chile. 28 pp.

Dettinger, M. 2011. Atmospheric rivers, floods and water resources of California. Journal of Water 2011, 3, 445-478; doi: 10.3390/w3020445.

Ellison, D. et al., 2012. On the forest cover–water yield debate: from demand- to supply-side thinking. Global Change Biology 18, 806–820. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.02589.x>.

Ellison, D. et al, 2017. Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. Global Environmental Change 43 (2017) 51–61.

Ellison, D., 2018. From Myth to Concept and Beyond – The BioGeoPhysical Revolution and the Forest-Water Paradigm. UNFF13 Background Analytical Study on Forests and Water. 50 pp.

FAO/AQUASTAT, 2014. Freshwater availability and internal water resources. FAO.

FAO, 2003. World water resources by country. FAO.

FAO, 2011. State of the world forests. FAO.

FAO, 2010. Leyes Forestales en América del Sur. Documento de Trabajo FAO.

FAO, 2004. Forest Legislation in Europe. Discussion Paper N° 37.

FAO, 2001. Trends in Forestry Law in Europe and Africa. FAO Legislative Study N°72.

Gandolfo, M. et al. 2011. Oldest known Eucalyptus Macrofossils are from South America. PLoS ONE, Volume 6, Issue 6. 9pp.

Gianoli, E, y Carrasco-Urra, F. 2014. Leaf Mimicry in a Climbing Plant Protects against Herbivory. Report. Current Biology, Volume 24, Issue 9, 984-987.

Gleick, 2000. The World's Water 2000–2001. Washington D.C.: Island Press.

Hansen, M., et al. 2017. Shinrin Yoku (Forest Bathing) and Nature Therapy: A State-of-the-art Review. International Journal of Environmental Research and Public Health. Volume 14, N° 851. 48pp.

Hinojosa, L. y Villagrán, C. 2005. Did South American Mixed Paleofloras evolve under thermal equability or in absence of an effective Andean barrier during the Cenozoic? Journal of Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 217, 1-23.

Hinojosa, L. et al. 2015. Non-congruent fossil and phylogenetic evidence on the evolution of climatic niche in the gondwana genus *Nothofagus*. Journal of Biogeography. 13pp.

IPCC, 2014. Quinto Reporte de Evaluación. Resumen para tomadores de decisión. 28 pp.

Lara et al., 2012. Reconstrucción de la cobertura de la vegetación y uso del suelo hacia 1550 y sus cambios a 2007 en la ecorregión de los bosques valdivianos lluviosos de Chile (35° – 43° 30' S). Universidad Austral de Chile. Revista BOSQUE 33(1): 13-23.

Moreno, T. y Gibbons, W. 2007. The Geology of Chile. The Geological Society. 414pp.

Nobre, Antonio. 2014. The Future Climate of Amazonia. Scientific Assessment Report. Articulación Regional Amazónica. 42pp.

Plomion, C., et al. 2018. Oak genome reveals facets of long lifespan. Rev. Nature. Nature Plants. Letters. Volume 4, 440-452.

Rodriguez et al. 2017. Catálogo de la flora vascular de Chile”. Revista de la Sociedad Chilena de Historia Natural. Gayana Botanica.

Shiklomanov, I., 1998. “World Water Resources”. UNESCO Series.

Shiklomanov, I. y Rodda, J., 2003. “World water resources at the beginning of the XXIst century”. UNESCO Series.

Solomon, S. et al. 2008. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences.

Torres, Teresa. 1984. *Nothofagoxylon antarcticus* n. sp., madera fósil del Terciario de la Isla Rey Jorge, Islas Shetland del Sur, Antártica. Serie Científica INACH 31:39-52.

Westbrook, G. et al. 2009. Escape of methane gas from the seabed along West Spitzbergen continental margin. Revista Science Agosto 2009.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. World Resources Institute (WRI). Island Press, Washington D.C. 155pp.

ANEXO 1: FIGURAS

FUNCIÓN SOCIAL DE LOS BOSQUES

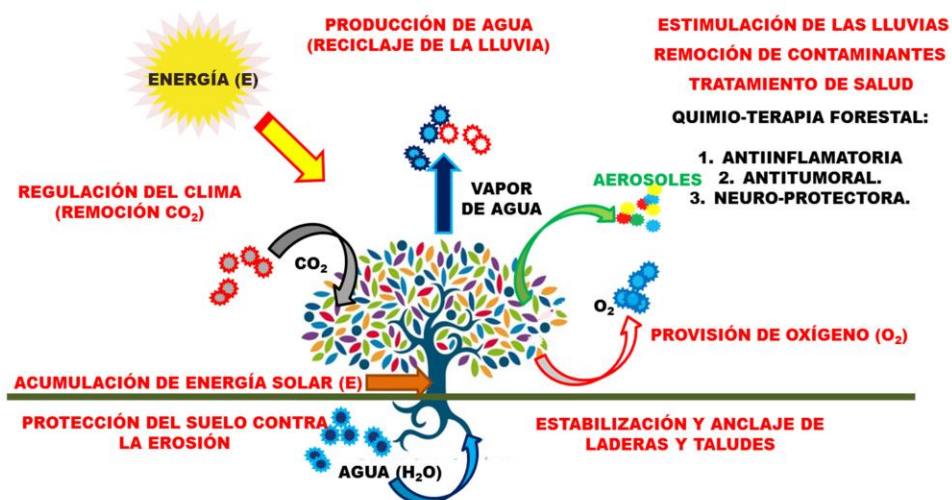


IMAGEN ÁRBOL: FUCOA.

W.ALFARO(C), 2019.

Figura 1. La fotosíntesis y la respiración base de la función social de los bosques vital para la existencia humana. Fuente: Alfaro, 2015.

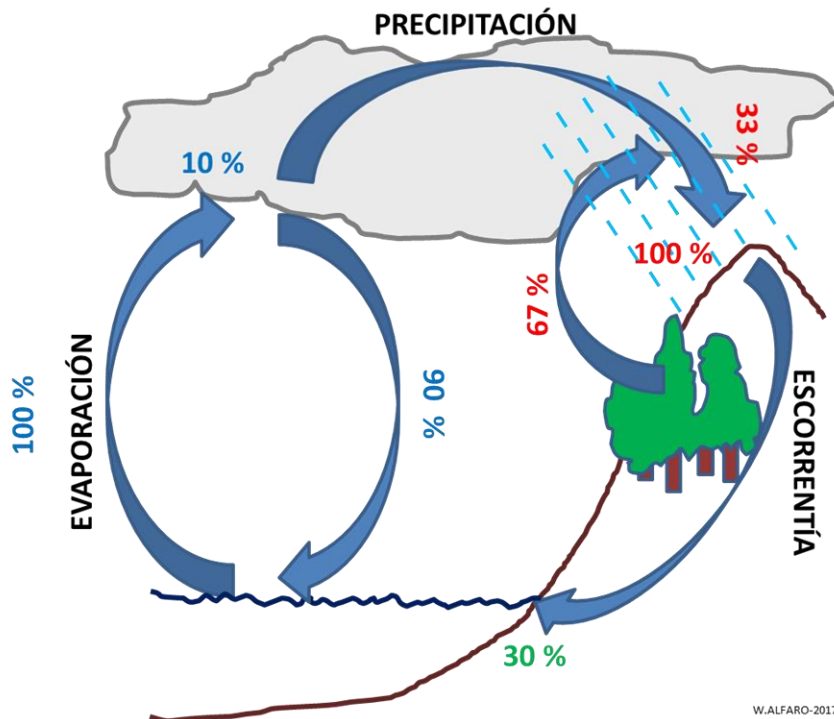


Figura 2. La función social de los bosques para la producción de agua. Fuente: Alfaro, 2015; Ellison, 2018; Trenberth, 2007.

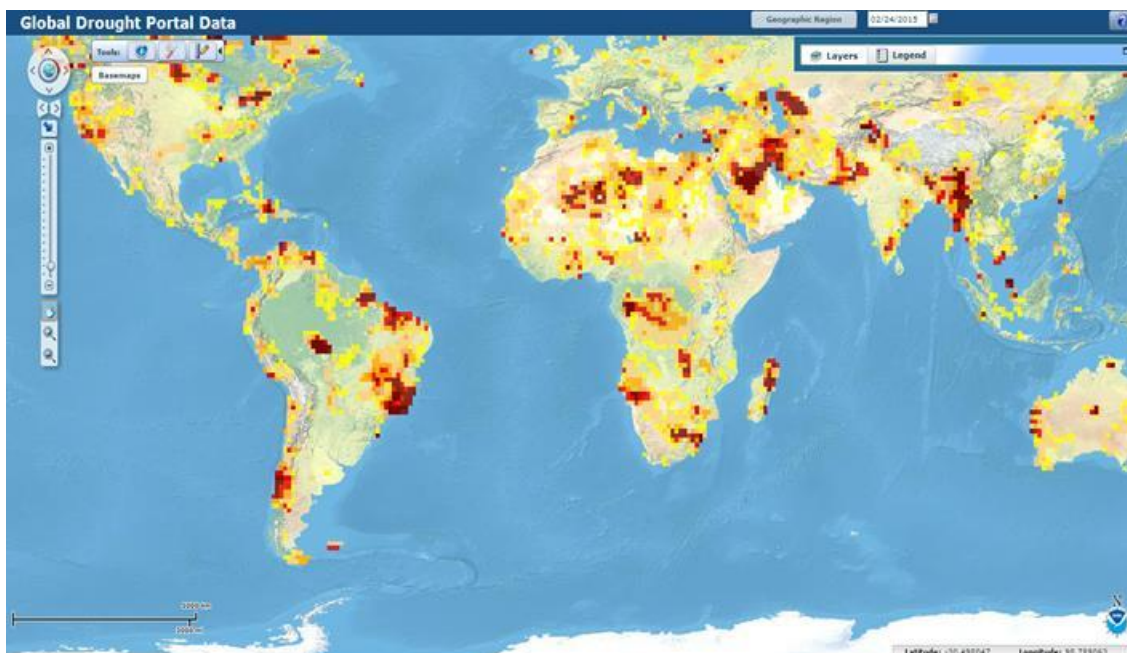


Figura 3. Sequía Global. Fuente: NOAA, Febrero 2015.

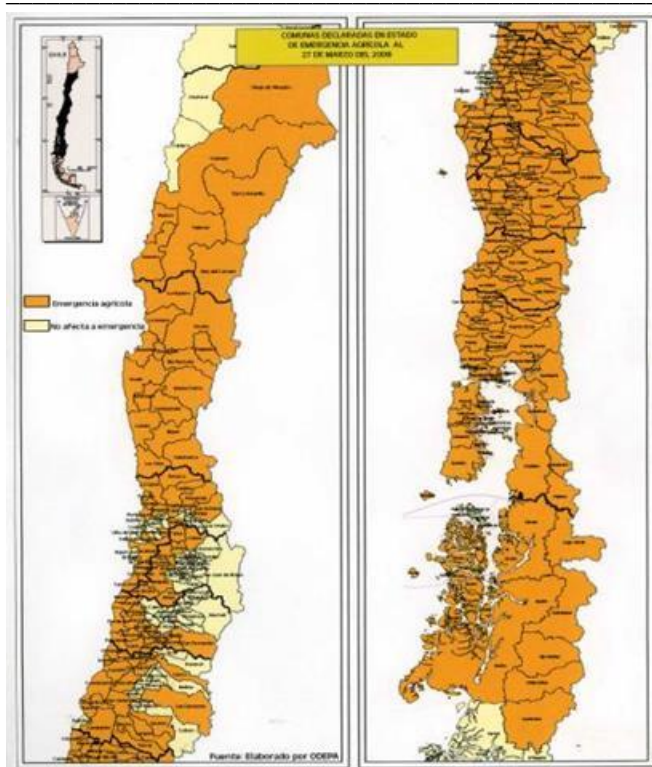


Figura 4. Comunas declaradas en emergencia agrícola por sequía en Chile. Fuente: UNEA, 2008.

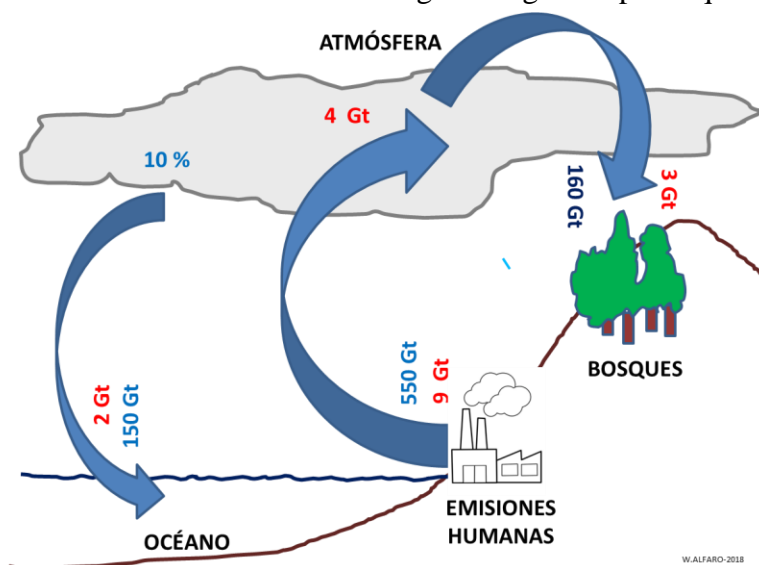


Figura 5. Función social provista por los bosques para regulación del clima mediante la eliminación de la atmósfera de gases de efecto invernadero. Fuente: W.Alfaro, 2015; IPCC, 2014.